پنجمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیروی برق

شبکه‌های عصبی چند لایه به صورت الگوریتمی برای عیب‌یابی سیستم‌های توزیع الکتریکی

علی‌اصغر حبیب‌زاده
دانشگاه تبریز ـ دانشکده فنی ـ گروه مهندسی برق
پتروشیمی تبریز ـ اداره مهندسی

سهراب خان‌محمدی
دانشگاه تبریز ـ دانشکده فنی
گروه مهندسی برق

چکیده:

مهمترین مسئله در یک سیستم توزیع اطمینان از تغذیه بدون وقفه نیروی الکتریکی به مشترکین بوده و از اینرو دانستن وضعیتهای عادی، بحرانی و غیر مطمئن شبکه در حداقل زمان ممکن بسیار حائز اهمیت است. نقطه کار یک سیستم توزیع الکتریکی برداری است که عناصر آن می‌توانند جریان، ولتاژ و توان خطوط و باس بارها و ترانس‌ها باشند. در این مقاله امکان استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای تشخیص عیوب عمومی که امکان دارد در یک سیستم توزیع اتفاق بیافتند بحث شده و سپس الگوریتم پیشنهادی برای قسمتی از شبکه توزیع مجتمع پتروشیمی تبریز شبیه‌سازی گردیده و نتایج مورد بررسی قرار می‌گیرند. تئوری شبکه‌های عصبی به علت عدم نیاز به مدل سیستم و انجام محاسبات در شکل موازی برای این کاربرد نیز نتایج قابل توجهی داشته و از انجام پذیری خود در عمل و بهبود قابل ملاحظه در فرآیند عیب‌یابی شبکه‌های توزیع نوید می‌دهند.

شرح مقاله :

هدف نهایی یک سیستم توزیع رساندن برق از پست‌ها به مشترکین می‌باشد. به منظور دست یافتن به تغذیه پایدار بدون وقفه برق، سیستم توزیع باید از نهایت درجه اطمینان برخوردار باشد ولی با این حال اتفاق افتادن برخی عیبها در اثر پیش‌آمدهایی نظیر رعد و برق، تصادم با خطوط انتقال و توزیع، عیوب ناشی از فرسودگی تجهیزات الکتریکی توزیع و عیوب تصادفی دیگر اجتناب ناپذیر بوده و قابل پیشگیری نیستند. وقتی عیبی به دلایل بالا اتفاق می‌افتد این نکته بسیار مهم است که خروج از مدارهای (outages) ناشی از آن به حداقل ممکن محدود شود و تجهیزات معیوب در اولین فرصت دوباره در سرویس قرار بگیرند. انجام پذیر بودن این مهم قبل از همه به مشخص شدن محل و ماهیت عیب نیاز دارد. این فرآیند را اغلب بنام فرآیند عیب‌یابی در سیستمهای توزیع می‌خوانند که قسمت اساسی فرآیند (Fault handling) را در سیستمهای کنترل و نظاره الکتریکی نظیر SCADA، EMS، ECS تشکیل می‌دهد.

در سیستم‌های توزیع الکتریکی، شناسائی و تشخیص عیب از اهمیت بسیار برخوردار است. دانستن این امر که با وجود یک یا چند عیب در خطوط، ترانس‌ها و ...، سیستم در وضعیت عادی و مطمئن خود باقی می‌ماند و یا نه. برای تعیین استراتژی ضروری است. اهمیت این مثلاً برای شبکه توزیعی که وظیفه تغذیه برق مجتمعهای صنعتی بزرگ با ماهیت خطرناک (Dangrous) و حیاتی را بر عهده دارد دو چندان می‌گردد. به همین دلیل است که از دیر باز تحقیقات زیادی در نحوه انجام عیب‌یابی و بهبود روشهای کاربردی آن صورت گرفته و اخیراً نیز مطالعات وسیعی در بکارگیری سیستمهای مبتنی بر دانش (Knowadge-bascd) برای عیب‌یابی شروع شده است. محاسبات کامپیوتری با الگوریتم‌های معمولی برای حالتی که چندین عیب همزمان اتفاق می‌افتد به افزایش نمائی در زمان محاسبات می‌انجامد بطوری که در شبکه‌های بزرگ توزیع تشخیص این عیوب در زمان حقیقی بطور همزمان عملاً غیر ممکن می‌شود. روشهای عیب‌یابی در سیستمهای الکتریکی مبتنی بر دو روش عمده زیر می‌باشند.

۱ ـ روشهای مبتنی بر مدل سیستم.

۲ ـ روشهای شناسائی الگو.

در روشهای مبتنی بر مدل، وظایف و ساختار شبکه توزیع و سیستم حفاظت رله‌ای آن مدل‌سازی شده و شرایط عیب شبیه‌سازی می‌گردند و عیوب مختلف با مقایسه کردن نتایج مشابه‌سازی شده با اطلاعات واقعی اندازه‌گیری شده از سیستم شناسائی می‌شوند. این روشها

به محاسبات کامپیوتری سنگینی نیاز داشته و از اینرو کمتر سیستمی می‌توان یافت که بتواند به راحتی با این روشها عیب‌یابی شود. مخصوصاً اگر مدل سیستم پیچیده و غیر خطی باشد عیب‌یابی امکان ناپذیر می‌شود [۱ و ۴]. این روشها همچنین از انعطاف لازم در قبال تغییرات در ساختار سیستم برخوردار نیستند. دقت این روشها نیز به دقت مدل سیستم بستگی داشته و برای حوالی نقطه کار که مدل در آن ناحیه معتبر است مناسب‌ترند.

برای عیب‌یابی با متدهای شناسائی الگو نیازی به دانستن مدل سیستم نیست. این روشها یک تصویر صریح از فضای اندازه‌گیری (Measurement space) به فضای تصمیم‌گیری (Decision-space) می‌باشند. در این روشها که بعضاً متدهای مبتنی بر دانش نیز نامیده می‌شوند عیب‌یابی در ۳ مرحله: اندازه‌گیری و استخراج ماهیت (Feature) و طبقه‌بندی انجام می‌گیرد و نتیجه آن طبقه‌بندی عیب به صورت: کارکرد عادی، خطای شماره (نوع) ۱، خطای شماره ۲ و... می‌باشد. روشهای شناسائی الگو به دلیل عدم نیاز به مدل آنالیتیکی سیستم، حساسیت چندانی به سیستم و نوع آن نداشته و در عوض حساسیت زیادی به داده‌های آموزشی دارند. محاسبات در این روشها آسان و نسبتاً کم حجم‌تر می‌باشند. روشهای مختلفی از این نوع تا به حال برای عیب‌یابی پیشنهاد و مورد آزمایش قرار گرفته است ولی امروزه روشهای مبتنی بر هوش مصنوعی بطور گسترده‌ای در این ارتباط در حال تست و بررسی هستند. یکی از این روشها، روش سیستمهای خبره می‌باشد که در آن دانش انسانی به صورت قوانین صریح فرموله شده و برای عیب‌یابی مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش دیگر برای عیب‌یابی به صورت شناسائی الگو با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) است. مطالعات انجام شده بر روی مغز انسان نشان می‌دهد مهارت عجیبی در شناسائی الگوها در آن نهفته است. انسان از منطق پیچیده‌ای برای شناسائی الگوها و طبقه‌بندی آنها استفاده می‌کند. نحوه عمل انسان بطور ریاضی می‌تواند به صورت تصویری از فضای الگو به فضای عضویت کلاس (Class-Membership) باشد [۱]. (ANN) نخست به شناسائی موقعیتهای مختلف عیب تعلیم یافته و پس از آموزش می‌تواند عیب‌یابی را به خوبی انجام دهد. از خصوصیات (ANN) می‌توان به سرعت محاسباتی زیاد، به خاطر سپردن (Memorize)، محاسبات موازی و توزیع شده، عدم حساسیت به تغییرات پارامترها، قابلیت تصویرسازی پیچیده و غیر خطی ورودی به خروجی، تطبیق پذیری، پایداری و دقت زیاد اشاره کرد.

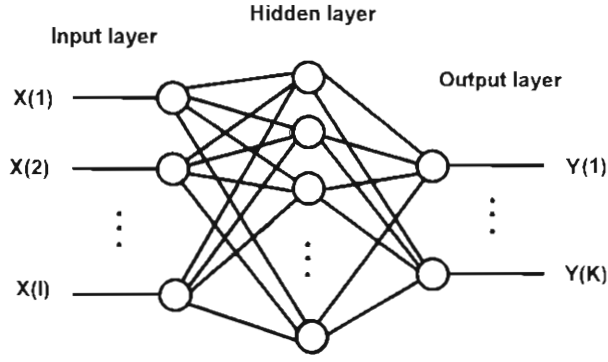
انواع مختلف (ANN) که تا به حال برای عیب‌یابی سیستمهای قدرت مورد بررسی قرار گرفته‌اند عبارتند از: (ANN) چند لایه [۱]، رقابتی [(Competetive)[۷]، Kohene [۲] و CPN (Counterpropation) [۱]. با علم به اینکه زمان اجرای عملیات در شبکه‌های عصبی

نوع انتشار بازگشتی (Back-Propagation) زیاد بوده و به داده‌های آموزشی زیادی نیاز دارند ولی به دلیل عمومیت بیشتر و ساده بودن الگوریتم یادگیری آن در این مطالعه از شبکه‌های عصبی نوع (BKP) استفاده می‌شود.

شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN):

شبکه‌های عصبی مصنوعی امروزه بطور وسیع در زیر ذره‌بین تحقیق قرار داشته و هر روزه ساختار و الگوریتم‌های یادگیری جدیدی توسعه و معرفی می‌گردند. الگوریتم‌های یادگیری عموماً به دو گروه بدون نظارت و با نظارت تقسیم می‌شوند. انتخاب الگوریتم آموزش و از آن رو انتخاب ساختار شبکه تا حد زیادی به نوع سیستم مورد مطالعه و نیز تا حدودی به سلیقه‌ها و Preferences استفاده کننده از (ANN) بستگی دارد. (ANN)های چند لایه با الگوریتم آموزش انتشار بازگشتی، امروزه عمومی‌ترین و پر استفاده‌ترین ساختاری است که در قریب به اتفاق کاربردها مورد استفاده قرار می‌گیرد و از نادر ساختارهای (ANN) می‌باشد که در سخت‌افزار پیاده شده و توسط برخی کمپانی‌ها در واحدهای صنعتی بکارگرفته شده است [۶].

در شکل ۱ یک (ANN) چند لایه پیشرو (Feedforward) با یک لایه مخفی نشان داده شده است.



« شکل ۱ ـ ANN پیشرو با یک لایه مخفی »

قانون بکار رفته در الگوریتم آموزش این شبکه‌ها که با محاسبه خطا در لایه خروجی و سپس انتشار آن به لایه‌های پائینی، همزمان به تعدیل قدرت وزنهای اتصالات بین سلولهای لایه‌های مختلف می‌پردازد، قانون دلتای عمومی GDR (General Delta Rule) می‌باشد. برای شتاب دادن به همگرائی الگوریتم آموزش (BKP) می‌توان از روش مومنتم که می‌تواند

حتی تا ۱۰ برابر سرعت همگرائی را افزایش دهد [۵] سود جست. سلولهای مشابه‌ساز غیر خطی، توابع مختلفی چون tanh، محدود کنندهٔ خطی و پله‌ای را برای محاسبه خروجی خود بکار می‌گیرند ولی ثابت شده است که تابع سیگموند از قابلیت و انعطاف بیشتری برخوردار می‌باشد. فرآیند آموزش شبکه عصبی را می‌توان با الگوریتمی مشابه الگوریتم زیر بیان نمود.

۱ ـ شروع با مقدار دهی اولیه تصادفی به وزنهای اتصالات بین سلولهای محاسباتی.

۲ ـ انتخاب تصادفی یک بردار ورودی از مجموعه داده‌های برداری آموزشی به لایه ورودی.

۳ ـ حرکت پیشرو و محاسبه خروجی سلولهای غیر خطی لایه‌های مختلف شامل لایه خروجی.

۴ ـ شروع فرآیند انتشار بازگشتی با محاسبه خطا در لایه خروجی.

۵ ـ حرکت به عقب و انتشار خطا همزمان با تعدیل وزنهای اتصالات تا رسیدن به لایه ورودی.

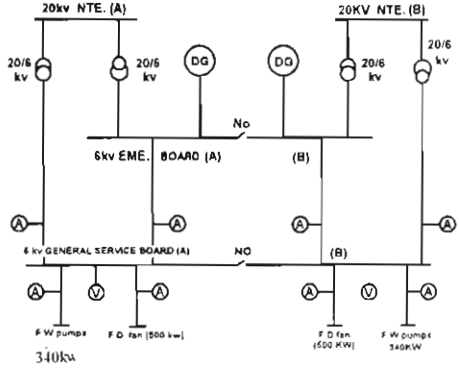
۶ ـ تکرار مراحل ۲ تا ۵ تا وقتی که تمام جفت الگوهای ورودی و خروجی به شبکه نشان داده شوند.

۷ ـ تکرار مراحل ۲ تا ۶ تا زمانی که مقدار خطای یادگیری به حد کافی کوچک نشده باشد.

۸ ـ اتمام فرآیند آموزش و تثبیت وزنهای اتصالات با آخرین مقادیر تعدیل شده.

کاربرد در عیب‌یابی سیستم توزیع :

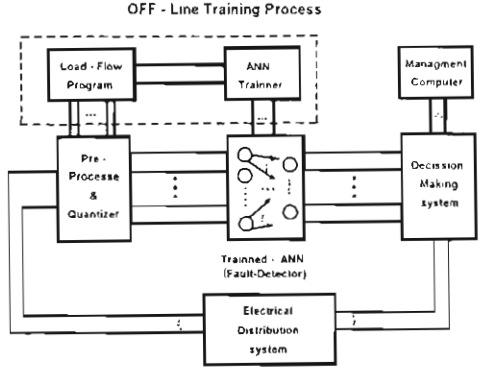
در این بخش الگوریتم انتشار بازگشتی (ANN) برای شناسائی و تشخیص عیوب سیستم توزیع شکل ۲ شبیه‌سازی شده و مراحل مختلف و نتایج بدست آمده مورد بحث قرار می‌گیرند



« شکل ۲ ـ سیستم توزیع برق برای بخشی از مجتمع پتروشیمی تبریز »

این سیستم مربوط به توزیع برق اضطراری برای بخش حساسی از یک واحد عملیاتی در

پتروشیمی تبریز می‌باشد. توان الکتریکی لازم برای تجهیزات متصل به شبکه همزمان از طریق دو سیستم موازی (۵۰٪ از هر کدام) تأمین شده و کلیدهای B.A در حالت کار عادی باز می‌باشند. در صورتی که عیبی در نقطه‌ای از سیستم توزیع اتفاق بیافتد CBهای (Circuit Breakers) مربوطه بلافاصله باز شده و سپس بسته به نوع و محل عیب یک یا هر دو کلید B.A تغییر حالت داده و تمام توان الکتریکی از طریق مسیری که سالم می‌باشد تأمین می‌گردد. در این مطالعه، تشخیص عیوبی عمومی چون اتصال کوتاه تک فاز به زمین (SLGF)، اتصال کوتاه ۳فاز به زمین (3LGF) و قطع یک فاز در نقاط مهم مانند فیدرهای ورودی (Incoming Feeders) و فیدرهای تغذیه تجهیزات مد نظر می‌باشد. داده‌های مورد نیاز برای استفاده در فرآیند عیب‌یابی توسط اندازه‌گیری جریان و ولتاژهای خطوط، فیدرها و شین‌های مختلف حاصل می‌گردد. این نقاط در شکل ۲ نشان داده شده‌اند. اندازه‌گیریهای فوق سپس در فرم برداری سازگار با (ANN) آموزش یافته در آمده و جهت تشخیص وضعیت سیستم توزیع به شبکه عیب‌یابی (ANN) اعمال می‌شوند. برای معرفی کامل‌تر الگوریتم پیشنهادی این مقاله برای عیب‌یابی می‌توان بلوک دیاگرام شکل ۳ را ارائه نمود.



« شکل ۳ ـ بلوک دیاگرام سیستم عیب‌یاب *(ANN)* »

فرآیند عیب‌یابی مستلزم آموزش قبلی (ANN) برای تصویر صحیح حالات مختلف ممکن برای اتفاق افتادن عیب می‌باشد. الگوهای آموزشی توسط یک برنامه پخش بار با مشابه‌سازی حالات مختلف عیب و بطور برون خطی (Off-Line) ایجاد می‌شوند. چند نمونه از الگوهای ایجاد شده توسط برنامه پخش بار که در آموزش (ANN) در این مقاله استفاده شده‌اند در زیر ارائه گردیده‌اند:

بردار الگوی ورودی شماره i $\equiv X_i$

X_{1pu} = [0.15,0.15,0.22,0.75,0.33,0.05,0.38,0.71,0.43,0.23,0.74,0.65,0.78,0.42]

X_{2pu} = [0.45,0.55,0.55,0.57,0.58,0.24,0.64,0.65,0.74,0.65,0.74,0.65,0.78,0.42]

X_{3pu} = [0.67,0.08,0.74,0.65,0.78,0.42,0.72,0.33,0.65,0.13,0.58,0.24,0.58,0.24]

X_{4pu} = [0.56,0.24,0.42,0.41,0.25,0.25,0.15,0.15,0.08,0.74,0.65,0.78,0.42,0.73]

X_{5pu} = [0.25,0.68,0.14,0.14,0.74,0.33,0.55,0.55,0.60,0.60,0.05,0.38,0.71,0.43]

X_{6pu} = [0.4,0.4,0.2,0.95,0.65,0.40,0.30,0.30,0.05,0.38,0.71,0.43,0.65,0.40]

در ساختن الگوهای خروجی مجموعه آموزشی به طریقه‌های کلاسیک، فقط یک سلول خروجی را به یک نوع خطا تخصیص می‌دهند [۱ و ۳]. بدین معنی که سطح فعالیت یک سلول فعال شده و بقیه عناصر غیر فعال می‌گردند. بدین ترتیب برای فرآیند عیب‌یابی مثلاً با ۱۰ نوع عیب بایستی ۱۰ سلول خروجی در شبکه (ANN) تعبیه گردد و این مسئله به بزرگتر شدن شبکه و نیز صرف زمان بیشتر برای محاسبه پاسخ می‌انجامد. در این مطالعه برای تشخیص و شناسائی عیوب، از بیش از یک سلول فعال در لایه خروجی استفاده شده است و بدین ترتیب با تعداد کمی سلول خروجی و در نتیجه زمان کمتری برای محاسبه پاسخ، تعداد زیادی عیب قابل شناسائی می‌باشند. در زیر چند الگوی خروجی متناظر با الگوی ورودی بالا ارائه شده است:

عیب شماره ۱ : Y_1 = [0,0,0,0,1,1]

عیب شماره ۲ : Y_2 = [0,0,0,1,0,1]

عیب شماره ۳ : Y_3 = [0,0,0,1,1,0]

عیب شماره ۴ : Y_4 = [0,0,1,0,0,1]

عیب شماره ۵ : Y_5 = [0,0,1,0,1,0]

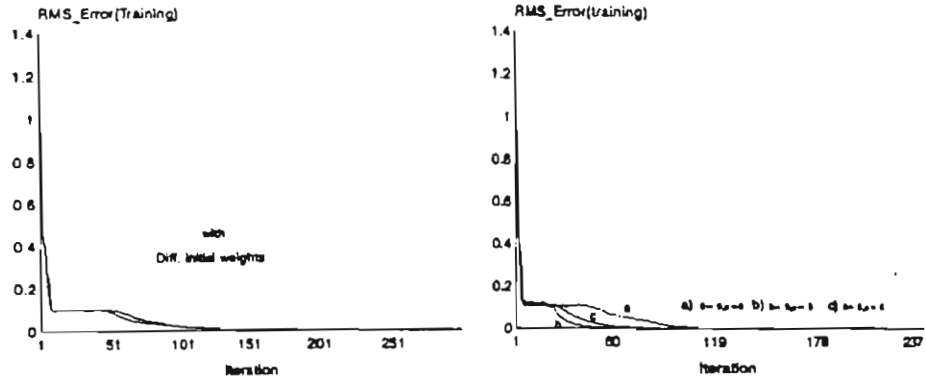
عیب شماره ۶ : Y_6 = [0,0,1,1,0,0]

(ANN) استفاده شده در این مطالعه یک شبکه ۵ لایه با ۳ لایه مخفی و با تعداد عناصر برابر با:

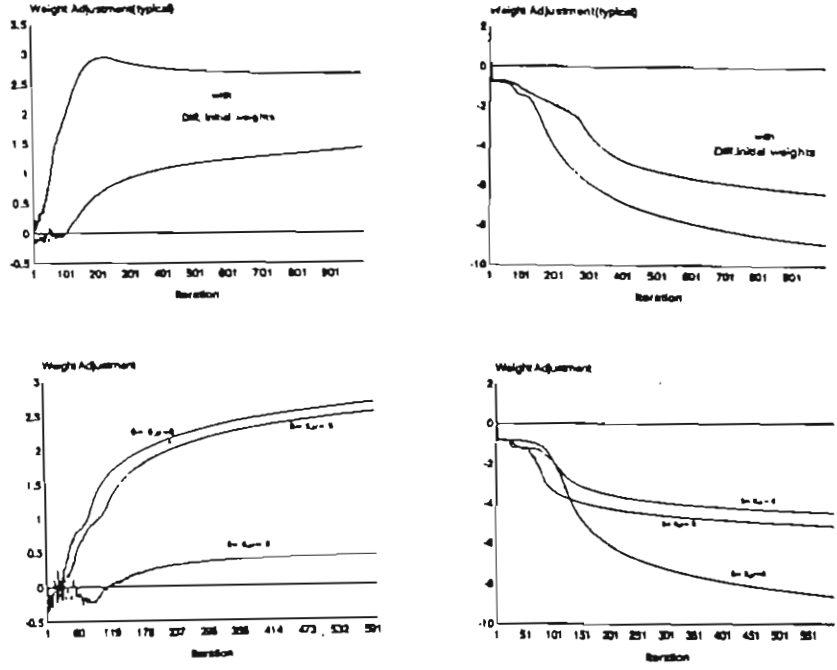
$N1 \equiv [n_1,n_2,n_3,n_4,n_5] = [15,12,10,6,6]$

می‌باشد که پس از تکرارهای زیاد طوری تنظیم شده‌اند که بهترین کارکرد را برای عیب‌یابی داشته باشد.

فرآیند عیب‌یابی در حدود ۲۰۰۰ تکرار را برای آموزش (ANN) انجام داده و به ازای مقادیر مختلف β (پارامتر یادگیری) و μ (مومنتم) تست گردیده است که نتایج بدست آمده کاملاً رضایت بخش هستند. در شکل ۴ منحنی‌های موفقیت آموزش به ازای مقادیر β و μ و نیز



« شکل ۴ ـ منحنی‌های آموزش شبکه. *a)* به ازای وزنهای اولیه متفاوت. *b)* به ازای μ . β متفاوت. »



« شکل ۵ ـ منحنی‌های تعدیل وزنهای فرعی *b,a)* وزنهای اولیه منفاوت *d,c)* β . μ متفاوت. »

به ازای وزنهای اولیه متفاوت رسم شده‌اند. این منحنی‌ها نشان می‌دهند (ANN) بدون برخورد با حداقل‌های موضعی بطور جامع آموزش یافته و مقدار خطا سریعاً همگرا می‌شود. در این منحنی‌ها همچنین اثر مثبت مومنتم μ در تسریع آموزش شبکه نشان داده شده است. در شکل ۵ منحنی‌های تعدیل وزنهای شبکه (وزنهای نوعی) همراه با پاسخ آن به یک برداری ورودی حاوی اطلاعات متناظر با یک عیب رسم شده‌اند و همانطوری که از منحنی‌های نتایج برمی‌آید (ANN) عیب‌یاب به ازای شرایط مختلف عیب پایدار بوده و حساسیتی به تغییر در وزنهای اولیه ندارد. بطوری که (ANN) عیب‌یاب از حالت کاملاً ناشناخته‌ای که هیچگونه سابقه و تجربه قبلی از شرایط عیب ندارد طوری آموزش می‌یابد که بتواند حالات مختلف عیب را تشخیص دهد.

نتیجه گیری :

در این مقاله ابتدا روشهای مختلف برای عیب‌یابی معرفی و باهم مقایسه شدند و بیان گردید که روشهای مبتنی بر شناسائی الگو به دلیل نیاز به مدل سیستم و کمتر بودن حجم محاسبات و حافظه مورد نیاز چندین خواص دیگر، مناسب‌ترین روشها برای اینکار می‌باشند. سپس الگوریتمی مبتنی بر تئوریهای (ANN) برای عیب‌یابی پیشنهاد شده و نتایج اعمال آن بر روی قسمتی از سیستم توزیع مجتمع پتروشیمی تبریز مورد بحث قرار گرفت. نتایج حاصله قابلیت بسیار بالا و مطمئن شبکه‌های عصبی مصنوعی برای عیب‌یابی سیستمهای توزیع در زمان حقیقی و با سرعت بالا را تائید کرده و زاویه جدیدی را برای تحقیقات کاربردی بیشتر در این زمینه را آدرس می‌دهد.

مراجع :

1 - T.Sorsa, H.N.Koiro "Neural Network In Process Fault Diagnostics". IEEE Trans On Sys. Man & Cybernetics, Vol. 21, NO. 4 Jul/Aug, 1991.

2 - D.Nibur, A.J.Germord, "Power Sys Static Security Assessment Using The Kohonen Neural Network Classifier, "IEEE Trans On Power Sys, Vol. 7, No. 2, May 1992.

3 - N.Kandil, V.K.Sood, K.Khorasani, R.V.Patel, "Fault Indentification In an AC-DC Transmission System Using Neural Networks". IEEE Trans. On Power Sys., Vol. 7, No.2, May 1992.

4 - Y.Sekine, Y.Akimoto, M.Kunugi, "Fualt Diognosis Of Power System. "Proceeding Of The IEEE, Vol. 80, No. 5, May. 1992.

5 - J.M.WRADA "Introduction To Artificial Neural System" NY.

6 - Fisher-Rosemaumt international Inc "Intelligent Sensors, Measure The Key Process Variables You Thought Were Unmeasurable: By Neural Networks," Fisher-Resemount System Manual, USA, 1993.

۷ ـ کاربرد شبکه‌های عصبی در عیب‌یابی سیستمهای الکتریکی، سهراب خانمحمدی، علی‌اصغر حبیب‌زاده، کنفرانس توزیع شیراز، ۱۳۷۲.